

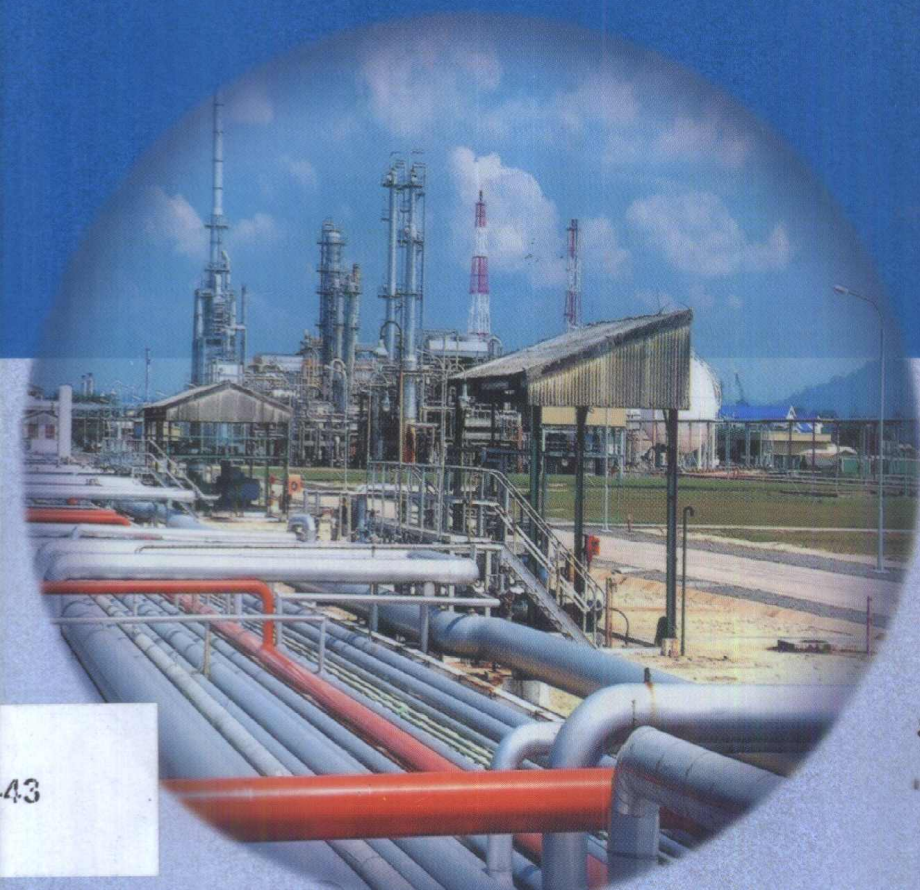
专升本

教育部师范教育司组织编写
中学教师进修高等师范本科(专科起点)教材

化工基础与实验

李德华 主编

赵小军 姚发业 杨恩翠 编



高等教育出版社

内容提要

本书是教育部师范教育司组织编写的“中学教师进修高等师范本科(专科起点)”教材。全书共十二章,包括:绪论、流体流动与输送、传热过程、气体吸收、液体精馏、化学反应工程学——反应器基本原理和典型化工生产工艺如硫酸生产、合成氨、氯碱生产、石油炼制及绿色化学化工简介。与其他化工基础教材不同的是,为了便于学生掌握和综合运用理论知识解决实际问题的能力,本书编写了八个与课程内容相关的实验,组成了第十二章——化工基础实验。各章编写了教学内容和基本要求,以及相应的复习题、习题,以备读者自学之用。

本书除了作为中学教师进修教材之外,也可作为高等师范化学专业本科生教材或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

化工基础与实验/李德华主编;赵小军,姚发业,杨恩
翠编. —北京:高等教育出版社,2002.7

专升本教材

ISBN 7-04-010697-3

I. 化… II. ①李…②赵…③姚…④杨…

III. ①化学工程-高等教育-教材②化学实验-高等教育-教材 IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 098786 号

化工基础与实验

李德华 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

传 真 010-64014048

购书热线 010-64054588

免费咨询 800-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 北京印刷二厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 20.5

字 数 490 000

版 次 2002 年 7 月第 1 版

印 次 2002 年 7 月第 1 次印刷

定 价 23.70 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

本书根据教育部师范教育司“中学教师进修高等师范本科(专科起点)”化学专业《化工基础与实验》教学基本要求而编写。作为一门专业必修课,化工基础与实验课程的讲授内容包含了传递工程、化学反应工程、化学工艺及化工基础实验四个部分。其中包括流体流动与输送、传热过程、气体吸收、液体精馏、化学反应器基本原理,以及硫酸生产、合成氨、氯碱生产、石油炼制等典型生产工艺。同时,对绿色化学化工方面的信息也作了简要介绍。实验则包含流体流动基本原理实验、热交换实验、吸收塔实验、精馏塔实验,以及反应器内物料的停留时间分布测定实验等内容。

作为一本师范类“专升本”教材,应当是“专升本”教育各个教学环节的核心和依据。学生的自学、面授、练习、答疑、考试等环节的设置、实施等均要围绕着教材的内容来进行,因此,教材质量的高低,即教材是否具有科学性、理论性、系统性、适应性,是否反映本学科最新科研成果,将直接影响到学生掌握知识的情况。有鉴于此,本书编写过程中,基本理论部分的阐述力求做到简明扼要、概念准确、表达清晰、循序渐进;各章开始提出教学内容和基本要求,例题、复习题、习题简繁搭配,图文密切配合,以便于读者自学。化工基础实验部分则强调实验中的共性问题,突出化工基础实验的实践性和单元操作的工程性。以大专毕业水平为起点,注意与专科知识的衔接。书中摒弃繁杂数学公式的推导,着重阐明基本知识、基本理论在实际中的应用。教材选材做到严谨、求实,并尽量反映本学科当前的发展水平,以利于开拓学生思路,增强创新意识,使之在今后的工作岗位上能够适应我国高速增长的经济建设和蓬勃发展的科学事业的需要。

根据《中学教师进修高等师范本科(专科起点)教学计划》(试行)对本课程教学课时的规定,并依据专升本教学的实际情况,建议师生在使用本教材时参考如下课时分配方案:

教 学 内 容	课 时 分 配				
	脱产	业余	函 授		
			面授	自学	合计
第一章 绪论	2	2	2	1	3
第二章 流体流动与输送	10	10	10	15	25
第三章 传热过程	6	6	6	9	15
第四章 气体吸收	8	8	8	12	20
第五章 液体精馏	8	8	8	12	20
第六章 化学反应工程学——反应器基本原理	14	14	14	20	34
第七章 硫酸生产	4	4	4	6	10
第八章 合成氨	6	6	6	9	15
第九章 氯碱生产	6	6	6	9	15
第十章 石油炼制	4	4	4	6	10

续表

教 学 内 容	课 时 分 配							
	脱产	业余	函 授					
			面授		自学		合计	
第十一章 绿色化学化工简介	4	4	4		4		8	
第十二章 化工基础实验	36	24	24	16	12	8	36	24
课时合计	108	96	96	88	115	111	211	199

参加本书编写的有天津师范大学赵小军(第一章、第二章的 2.2~2.5、第六章,以及第十二章的实验六)、杨恩翠(第五章和第二章的 2.1),山东教育学院姚发业(第三章、第四章),华中师范大学李德华(第七章、第八章、第九章、第十章、第十一章、第十二章的实验一、实验二、实验三、实验四、实验五、实验七、实验八)和附录。李德华任主编,负责全书统稿。

本书初稿承蒙福建师范大学蒋家俊老师详细审阅,并提出许多宝贵意见和建议;高等教育出版社王蕙婍老师对本书的付梓作了大量工作。在此一并向他们,以及所选参考文献和资料的作者、单位表示深切谢意。

敬请使用本书的广大教师和读者批评指正。

编者

2001 年 9 月

目 录

第一章 绪论	1	3.1.2 热量传递的基本方式	49
1.1 化学工业与化学工程	1	3.2 传导传热	49
1.1.1 化学工业的发展概况	1	3.2.1 导热基本方程和导热系数	49
1.1.2 化学工业的高新技术	2	3.2.2 平面壁的定态导热	50
1.2 化学实验与化工生产过程的联系与区别 ..	4	3.2.3 圆筒壁的定态导热	52
1.3 化学工程和工艺中的一些基本规律	4	3.3 对流传热	55
1.3.1 质量守恒	5	3.3.1 对流传热过程分析	55
1.3.2 能量守恒	5	3.3.2 对流传热基本方程	56
1.4 化工过程开发简介	6	3.3.3 表面传热系数	56
1.5 化工常用单位及其换算	7	3.3.4 表面传热系数的经验关联式	57
第二章 流体流动与输送	9	3.4 辐射传热	59
2.1 流体流动中的守恒原理	9	3.4.1 热辐射的基本定律	59
2.1.1 定态流动与非定态流动	9	3.4.2 两固体间的相互辐射	60
2.1.2 流量与流速	10	3.5 传热过程计算	61
2.1.3 流体流动的连续性方程	11	3.5.1 热负荷	62
2.1.4 伯努利方程及其应用	12	3.5.2 传热过程推动力——平均温度差	63
2.2 流体在管内的流动阻力	17	3.5.3 传热过程阻力与总传热系数	66
2.2.1 牛顿粘性定律与流体的粘度	17	3.5.4 热交换器传热面积的计算	68
2.2.2 流动型态	18	3.6 热交换过程的强化	69
2.2.3 流动边界层	20	3.6.1 增大传热面积	69
2.2.4 流体流动阻力的计算	21	3.6.2 增大传热平均温度差	69
2.3 流体输送管路的计算	30	3.6.3 提高传热系数	70
2.3.1 简单管路的计算	30	3.7 加热技术及热交换设备	71
2.3.2 复杂管路的计算	31	3.7.1 加热技术	71
2.4 流体流量的测量	33	3.7.2 热交换设备	71
2.4.1 孔板流量计	33	习题	72
2.4.2 文丘里流量计	35	第四章 气体吸收	75
2.4.3 转子流量计	35	4.1 概述	75
2.5 流体输送机械	37	4.1.1 气体的吸收过程	75
2.5.1 离心泵的工作原理及主要构件	37	4.1.2 气体吸收的应用	75
2.5.2 往复式压缩机	41	4.2 气液相平衡关系	76
习题	43	4.2.1 相组成表示方法	76
第三章 传热过程	48	4.2.2 气体在液体中的溶解度	77
3.1 概述	48	4.2.3 亨利定律	77
3.1.1 传热过程	48	4.3 吸收机理	79

4.3.1 单相中物质的传递	80	6.2.2 反应器的型式	130
4.3.2 双膜理论	80	6.2.3 反应的相态	131
4.4 吸收速率方程式	81	6.2.4 化学反应的动力学基础	132
4.4.1 气膜吸收速率方程式	81	6.3 理想均相反应器及其计算	137
4.4.2 液膜吸收速率方程式	82	6.3.1 理想流动模型	137
4.4.3 相界面浓度的确定	82	6.3.2 反应器操作中的几个基本概念	138
4.4.4 总吸收速率方程式	82	6.3.3 间歇釜式反应器	138
4.5 填料吸收塔的计算	86	6.3.4 理想置换反应器	140
4.5.1 吸收塔中的物料衡算——操作线 方程	86	6.3.5 理想混合反应器	143
4.5.2 吸收剂用量的计算	87	6.3.6 多级串联理想混合反应器	145
4.5.3 填料层高度的计算	90	6.4 反应器型式和操作方法的评比	149
4.5.4 传质单元高度和传质单元数	91	6.4.1 反应器生产能力的比较	149
4.5.5 填料塔直径的计算	94	6.4.2 容积效率	150
习题	96	6.4.3 反应选择性的分析	151
第五章 液体精馏	98	6.5 实际反应器	153
5.1 双组分溶液的气液相平衡	99	6.5.1 实际反应器内物料质点的返混	153
5.1.1 双组分理想溶液的气液相平衡	99	6.5.2 停留时间分布的表示方法	153
5.1.2 相对挥发度	101	6.5.3 停留时间分布的测定	154
5.1.3 精馏原理	102	6.5.4 停留时间分布的数字特征	155
5.2 双组分连续精馏的物料衡算与能量 衡算	104	6.5.5 理想反应器中的停留时间分布	156
5.3 连续精馏理论塔板数的计算	110	6.5.6 非理想反应器中的停留时间分布	157
5.3.1 逐板算法	111	6.5.7 停留时间分布曲线的应用	160
5.3.2 图解法	111	习题	161
5.3.3 回流比及其对精馏操作的影响	112	第七章 硫酸生产	164
5.3.4 简捷算法	116	7.1 概述	164
5.4 塔板效率与实际塔板数	119	7.1.1 硫酸工业在国民经济中的地位	164
5.4.1 塔板效率	119	7.1.2 生产硫酸的原料	165
5.4.2 塔高、塔径的计算	120	7.1.3 以硫铁矿为原料生产硫酸的原则 流程	165
5.5 其他精馏方式简介	121	7.2 二氧化硫炉气的制备	166
5.5.1 间歇精馏	121	7.2.1 硫铁矿的焙烧	166
5.5.2 特殊精馏	122	7.2.2 沸腾焙烧与沸腾焙烧炉	167
习题	125	7.3 炉气的净化与干燥	169
第六章 化学反应工程学——反应器的 基本原理	129	7.3.1 炉气净化的目的	169
6.1 化学反应工程学的基本任务及研究 方法	129	7.3.2 炉气净化的方法和流程	169
6.2 工业反应器及其分类	130	7.3.3 炉气的干燥	171
6.2.1 反应的操作方法	130	7.4 二氧化硫的催化氧化	171
		7.4.1 平衡常数和平衡转化率	171
		7.4.2 催化剂与反应动力学	174
		7.4.3 二氧化硫催化氧化的工艺条件	175
		7.4.4 二氧化硫催化氧化的工艺流程	

和设备	176
7.5 三氧化硫的吸收	178
7.5.1 三氧化硫吸收成酸原理	178
7.5.2 吸收流程	179
7.6 硫酸生产工艺流程的基本特点	180
7.6.1 硫酸生产工艺流程的基本特点	180
7.6.2 硫酸生产的主要反应过程	181
7.6.3 硫酸生产中反应热的利用	181
7.6.4 硫酸生产中的“三废”治理与 环境保护	182
复习题	182
第八章 合成氨	184
8.1 概述	184
8.1.1 合成氨在国民经济中的重要地位	184
8.1.2 合成氨生产方法简介	184
8.2 合成氨原料气的制备	185
8.2.1 固体燃料气化法	185
8.2.2 天然气加压催化蒸气转化工艺	190
8.3 原料气的净化	192
8.3.1 原料气的脱硫	192
8.3.2 一氧化碳的变换	194
8.3.3 二氧化碳的脱除	196
8.3.4 原料气的精制	197
8.4 氨的合成	198
8.4.1 氨合成反应的热力学基础	198
8.4.2 氨合成反应的动力学基础	201
8.4.3 氨合成的工艺流程	205
8.4.4 氨合成塔	206
复习题	210
第九章 氯碱生产	211
9.1 概述	211
9.1.1 氯碱工业的生产方法及其发展	211
9.1.2 氯碱工业的特点	213
9.2 盐水电解的基本原理	214
9.2.1 法拉第定律	214
9.2.2 电流效率	215
9.2.3 电压和电能消耗	215
9.3 隔膜法电解的工艺过程	218
9.3.1 食盐水的制备和精制	219
9.3.2 食盐水的电解和立式隔膜电解槽	

结构	219
9.3.3 隔膜法电解食盐水的工艺过程	222
9.4 隔膜法电解产物的处理与加工	223
9.4.1 电解碱液的蒸发	223
9.4.2 氯气、氢气的处理	227
9.4.3 合成盐酸	227
9.4.4 氯苯的生产	228
复习题	229
第十章 石油炼制	230
10.1 概述	230
10.1.1 石油的重要性	230
10.1.2 石油的化学特性和分类	230
10.1.3 原油的一般加工过程	232
10.2 石油的蒸馏	232
10.2.1 馏分和馏分的组成	232
10.2.2 原油的预处理	233
10.2.3 常减压蒸馏	233
10.3 石油的二次加工	237
10.3.1 催化裂化	237
10.3.2 催化重整	242
复习题	246
第十一章 绿色化学化工简介	248
11.1 可持续发展与环境保护	248
11.1.1 可持续发展的定义	248
11.1.2 可持续发展与环境保护	249
11.1.3 化学工业的可持续发展	252
11.2 可持续发展与清洁生产	253
11.2.1 清洁生产的定义	253
11.2.2 清洁生产与可持续发展的关系	255
11.2.3 典型化工清洁生产工艺及污染 预防和回收利用方法	255
11.3 化学工业的“绿色化”	258
11.3.1 绿色化学的概念及其优点	258
11.3.2 化工产品“绿色化”	261
11.3.3 化学工艺过程“绿色化”	262
复习题	264
第十二章 化工基础实验	265
实验一 流体流动阻力系数的测定	270
实验二 流体流量计的校正	273
实验三 液-液热换热器传热系数及表面	

	传热系数的测定	276		停留时间分布	295
实验四	填料塔液侧传质膜系数的测定	282	实验八	阶跃示踪法测定连续搅拌釜式	
实验五	连续精馏塔分离能力的测定	287		反应器的停留时间分布	302
实验六	精馏柱和填料性能评比	292	主要参考文献		307
实验七	脉冲示踪法测定理想混合反应器的		附录		309

第一章 绪 论

内容提要 本章简要叙述了化学工业的发展概况以及化学工程和工艺中的一些基本规律,对化工过程开发的一般概念作了简要叙述,比较了化学实验室和化学工业生产过程的差别,并对近年来已经发展和正在发展的一些化学工业的高新技术作了初步介绍。

基本要求 了解化学工程和工艺中的一些基本规律及化学工业生产和化学实验室研究之间的联系及区别,了解化学工业中的一些高新技术。了解各种单位制之间的联系,掌握同一物理量用不同单位制表示的换算。

化学工业是将各种原材料通过不同条件下所进行的化学反应,使其性质或形态产生变化,定向加工成对国民经济发展和人民生活水平改善有价值的化学产品的一种工业。它与人们的衣、食、住、行有着紧密的联系,对于实现工业、农业、科技和国防的现代化是必不可少的。国际上最关心的几个重大问题——环境保护、能源的开发利用、新型功能材料的研制、生命过程奥秘的探索等,都与化学工业密切相关。化学专业的学生在学习了无机化学、分析化学、有机化学及物理化学课程之后,要进一步学习生产和加工化学产品的应用技术知识,就必须了解化学工业生产的基本规律,学习和掌握化学工业生产中的原理及其应用。

1.1 化学工业与化学工程

化学工业包含种类繁多、形式各异的化工生产过程。各个化工生产过程根据其所处理的物料种类、相态等可由各种不同的操作方式所组成。尽管化工生产中所处理的物料及反应条件和最终产物的差别很大,但其中均有一些共性规律。

1.1.1 化学工业的发展概况

化学工业与其他工业存在着紧密的联系,这种联系随着科学技术水平和生产能力的变化而变化,并随着社会的需求而发展,是国民经济重要的基础工业。化学工业的产值在国民经济的总产值中占有显著的比重,并对其他相关工业部门如能源工业、塑料制品工业、化学纤维工业、无机盐工业、日用化工工业、医药工业、皮革化工工业、材料工业、信息产业以及生态科学、纳米科学、地球科学等科学的发展产生重要的影响。因此,化学工业与其他相关工业相互依存、相互促进、共同发展。

化工产品的原材料及供应市场所涉及的范围极为广泛。我国目前大致将化学工业分为基本化学工业、化肥工业、石油化学工业和其他化学工业等。

与化工行业相关的行业包括:塑料制品、化学纤维、无机盐、炼焦化学、日用化工、皮革化工及制药行业等。

随着社会生产力和人们生活水平的不断提高,化工新技术开发的速度越来越快,化工产品的结构不断变化,产品品种日趋丰富,不断适应和满足了市场的需求。近年来精细化学品的生产越来越受到重视,该类产品的产值在化学工业产值中的比重逐年上升。根据精细化学品的功能和结构特征,大致可做如下分类:

(1) 医药;(2) 农药;(3) 粘合剂;(4) 涂料;(5) 染料及其中间体;(6) 表面活性剂和合成洗涤剂;(7) 塑料、合成纤维和橡胶用助剂;(8) 香料;(9) 感光材料;(10) 试剂和高纯物;(11) 食品添加剂;(12) 石油用化学品;(13) 造纸用化学品;(14) 功能材料;(15) 化妆品;(16) 催化剂;(17) 无机精细化学品;(18) 信息产品;(19) 纳米材料;(20) 新型高分子材料(导电高分子、医用高分子等)等。

1.1.2 化学工业的高新技术

近年来,随着科学技术和生产力水平的提高以及新的实验手段和电子计算机的广泛应用,以高新技术为中心的新技术革命正在突飞猛进的发展。当前国际上最引人注目的几个重大问题都与化学和化工工业密切相关,因此,为化学工业提供了更为广阔的发展空间。由于化学工业与其他工业相互渗透、相互交叉,使得化学工程成为范围更为广阔的学科,与其他工业的关系更加密切。与现代化学工业关系密切相关的高新技术领域主要有:

1. 新材料技术

随着高技术的发展,需要开发研制品种更多的具有特殊性能的高新材料。迫切需要具有光、电、磁和催化等各种性能的材料,以满足社会发展的需要。如高温超导体、非线性光学材料、催化材料、防伪材料、无机陶瓷膜及功能性高分子材料等。此外,由于全球存在的能源危机,促使人们进一步研究太阳能电池、燃料电池、磁流体发电、热核聚变等新的和效率更高的获取能源的方式。对光电转换材料、固体电解质、电极材料、激光材料和磁性材料等的研制也在紧张进行。

2. 新型分离技术

现代化学工业的发展离不开分离过程。近年来,随着科技的不断进步和各种新材料的出现,新型高效的分离技术不断被应用到化学工业的分离过程中,其中最引人注目的当属膜分离技术。

膜分离技术以选择性透过膜为分离介质,当膜两侧存在某种推动力(如压力差、浓度差、电位差等)时,在原料一侧溶质有选择性地透过膜从而达到与溶剂分离、提纯的目的。通常膜的原料一侧称为膜上游,透过膜的一侧称为膜下游。

膜技术用于工业始于20世纪50年代,此后,大约每10年就有一种新的膜技术在工业中得到应用。50年代微滤膜和离子交换膜率先进入工业应用,60年代反渗透膜也进入工业应用,70年代为超滤膜,80年代为气体膜分离,90年代为渗透气化膜分离等。

微滤、反渗透、超滤、电渗析为已开发应用的四大膜分离技术,这些膜分离过程的装置、流程设计都相对比较成熟,已经应用于大规模的工业分离过程。

气体分离和渗透气化是近年来正在开发应用中的膜技术。其中气体分离的研究和应用比较成熟,近十几年来已用于工业分离过程。如空气中氧、氮的分离,合成氨过程中氮、氢、甲烷混合气的分离,天然气中二氧化碳与甲烷的分离,合成氨弛放气中氢的回收、炼油工业尾气中氢的回收以及工业废气中酸性气体的脱除等。气体膜分离的发展速度极为引人注目。尽管气体膜分离从20世纪70年代才开始进入工业应用阶段,但已成为与石油、电子、冶金、机械、运输、航天、医

药、食品等重要工业密切相关的技术。将在工业分离中发挥更为重要的作用。

渗透气化(或渗透蒸发, pervaporation 简称 PV)是惟一有相变的膜渗透过程。膜上游物料侧为液体混合物,下游透过侧为蒸气,为此,需提供一定的热量,才可使分离过程进行。在一定条件下渗透气化膜的选择性非常高,因此非常适用于用常规分离方法中能耗大、费用高的分离体系,特别是近沸、恒沸混合物的分离,如有机物-水、有机物-有机物的分离。由于该过程能耗仅为常规恒沸精馏的 $(1/3) \sim (1/2)$,且不使用苯等挟带剂,在取代恒沸精馏及其他脱水技术上具有很大的经济优势和社会效益,该项技术在全世界发展的非常快。

膜分离技术目前已广泛用于化工、电子、轻工、纺织、冶金、食品、石油化工等领域,不同膜过程在这些应用中所占的百分数为:微滤 35.71%;反渗透 13.04%;超滤 19.10%;电渗析 3.42%;气体分离 9.32%;血液透析 17.70%;其他 1.71%。

除了以单纯分离为目的的膜技术以外,还有膜催化反应器、膜生物反应器、控制释放、膜传感器和医用人造膜等不单纯以分离为目的的膜过程。

3. 超临界流体技术

超临界流体技术是近年来发展极为迅速的一种新型技术。超临界流体(supercritical fluid, SCF)是指处于临界温度(T_c)和临界压力(p_c)以上的流体。在超临界状态下,流体具有气液两相的双重特点,既具有与气体相当的高扩散系数和低的粘度,又具有与液体接近的密度和对物质良好的溶解能力。流体的这种溶解能力对体系温度和压力的变化极为敏感,所以可通过改变体系的温度和压力来调节组分的溶解度。尤为重要的是,在临界点附近,温度和压力的微小变化常会导致溶质的溶解度发生很大的变化,有的可高达几个数量级。利用超临界流体的这一特性进行分离操作的效果极佳,且过程无相变,能耗也较少。

超临界流体在化合物分离过程中应用较多,范围较广,形成了发展迅速的超临界流体萃取(supercritical fluid extraction, SFE)技术。SFE 是利用 SCF 作为萃取剂,从液体和固体中萃取出特定的成分,从而达到某种分离的目的。SFE 已在医药、食品、石油化工、精细化工、生物、煤化工等方面得到了广泛的应用。

近年来超临界流体技术在环境保护中也发挥了作用。如在环境分析中从固体样品和气体样品中提取多氯联苯、多环芳烃、石油烃类污染物及重金属离子等。在废物处理中,超临界流体技术也显示了其非凡的能力,如用超临界水氧化处理难降解的有机污染物特别有效。由于超临界水有很高的临界温度(374°C),有机污染物均可溶解于其中,并被空气氧化。废物中的 C, H 元素转化为 CO_2 , H_2O ; Cl, P, S 及金属元素转化成盐析出,以达到处理废物的目的。

由于 CO_2 超临界萃取是在低温下操作,同时还能比较有效地萃取出易挥发性物质,防止由于空气氧化而使产品质量下降,所以对分离热敏性物质特别适用;由于 CO_2 具有惰性,不会引发和不易发生化学反应, CO_2 无毒且易于挥发,所以可得到纯净的萃取物。因此在香料工业、食品工业、精细化工、医药工业等高技术、高附加值产业中将有着极为广泛的应用。

4. 新型催化剂和催化工艺

催化作用是一个应用广泛的领域。石油炼制过程中的裂解、重整、加氢精制;塑料、橡胶、化纤工业中单体合成与聚合;无机化工原料合成氨、硝酸、硫酸的生产等都是由于工业催化剂的研制成功和应用而迅速发展的。因此,新型催化剂的研制和新催化工艺的开发,一直是化学工业中一个极为活跃的领域。

从 20 世纪 50 年代以来,多孔晶体作为催化剂一直是人们研究的热点课题。由于多孔晶体内表面积大,而且孔径分布十分均匀,所以是一类优良的催化剂。现代炼油工业中广泛使用的 Y 型分子筛及 ZSM-5 型分子筛更是长期受到学术界的关注。一些新型分子筛的结构和催化性能也在不断被揭示和发掘。例如,镁碱氟石最近已被用来作为正丁烯转化为合成汽油添加剂甲基特丁基醚的原料异丁烯的重要催化剂。在精细化学品的生产过程中,许多传统的催化剂被分子筛催化剂所代替。这是由于分子筛催化剂选择性好,便于反应物和产物的分离,不造成环境污染,且可以比较容易再生。

1.2 化学实验与化工生产过程的联系与区别

任何化工生产过程的实现,首先是从实验室研究开始的,这一工作是化工生产过程的基础。在实验室研究工作中要对选择工艺路线、反应方式、分离方法和步骤等各种方案进行对比,用所得的最佳数据去证实所选方案的可靠性,以此来确定开发研究工作是否继续进行。但是,这一阶段的研究成果,只是从原理上说明该成果具有初步的可行性。最终只能完成一种新产品、新技术或新工艺的设想,并不意味着该成果在工业上能付诸实现。要把实验室取得的成果过渡到工业生产还要进行一系列开发工作:既要考虑到产品生产的原料路线和技术路线,还要考虑产品质量及市场销售;副产物的回收及综合利用;能源供应及消耗定额;“三废”治理及环境保护等许多技术经济问题。

实践表明,同一个化学反应在实验室进行和在工业规模生产上进行时,两者之间存在很大差异。要将实验室研究成果实现工业生产,必须深入考察在实验室条件下无法了解到的许多工程技术问题;以反应装置的体积为例,若有一个活塞流反应器在实验室用体积为 $V = \frac{\pi}{4} d^2 l$,若扩大该反应,将反应器直径和长度均扩大 10 倍,则反应器体积 $V' = \frac{\pi}{4} (10d)^2 (10l) = 1000 \left(\frac{\pi}{4} d^2 l \right)$,即放大后的反应器体积增大了 1000 倍,但反应器的表面积却仅放大了 100 倍 $A' = \pi(10d)(10l) = 100\pi dl$,因此,必然会使放大以后的反应器中热量的传递不均匀,如不采用适当措施加以调控,放大后的反应结果必然会与实验室反应结果不同。此外,在反应条件控制、物料用量、设备材质等方面,二者之间也存在很大差别。

通过上述简单比较可以看出,实验和化工生产过程虽有直接的联系,但也存在着较大的差异,化工生产过程并不能通过实验室研究成果的简单放大来实现。为了使实验室研究成果能顺利实现工业化规模生产,必须了解化学实验研究与工业化生产之间的联系和区别,了解研究和实验、扩大实验、设计、施工、试生产以及正式生产等环节,了解化学、化学工程、机械工程、测量控制、材料与防腐、技术与经济等多个学科领域,树立技术经济观点,掌握工业规模化学反应的特点及其规律。

1.3 化学工程和工艺中的一些基本规律

化学工程和工艺中普遍起作用的基本规律有:质量守恒、能量守恒以及有关平衡和过程速率

等规律。其中物料衡算和能量衡算为化工过程的计算基础,在此仅对这两项加以介绍。

1.3.1 质量守恒

质量守恒定律在化学工程与工艺中表现为物料衡算。在定态条件下,输入设备的物料质量减去输出设备的物料质量必等于积累在设备里的物料质量,即

$$\Sigma m_i - \Sigma m_o = m_A \quad (1-1)$$

即 输入物料质量 - 输出物料质量 = 积累的物料质量

式中: Σm_i 为输入物料质量的总和; Σm_o 为输出物料质量的总和; m_A 为积累的物料质量。

式(1-1)为物料衡算的通式,它适用于任何指定的空间范围(一个反应器、一个工序、一个车间,或者一个工厂),并适用于过程所涉及的全部物料。对间歇过程或连续过程都适用。

物料衡算虽然简单,但在化工生产过程中起重要作用,例如:

1. 根据处理的物料质量,确定设备的某些主要尺寸和规模(如蒸发器的尺寸或精馏塔冷凝器的大小等)。

2. 拟订加工的方案和选择流程(如按所处理的量确定是否应当综合利用以及三废的处理方案等)。

3. 确定在实际转化率下物系距化学平衡的远近,从而了解反应过程推动力的大小(如传质过程中的操作线等)。

4. 揭示操作偏离正常情况的程度,为进一步改进工艺操作提供依据。

1.3.2 能量守恒

能量守恒定律在化学工程和工艺中表现为能量衡算。根据能量守恒定律,对于定态过程,任何时间内经由各种途径输入系统的总能量必等于同一时间内由系统输出的总能量,即

$$\Sigma E_i = \Sigma E_o \quad (1-2)$$

输入的能量 = 输出的能量

式中: ΣE_i 为输入的能量的总和; ΣE_o 为输出的能量的总和。

在有反应热效应的场合下:

输入的能量 + 反应释放出的能量 = 输出的能量 + 系统中积累的能量

各种形式的能量(如机械能、化学能、电能等)与热之间虽可相互转换,但在化工设备(如换热器、精馏塔等)中,通常不需要考虑这种能量的转换,因此化工系统中的总能量衡算有时便简化为某种特定形式下的能量衡算。如在化学工程与工艺中常将总能量衡算简化为热量衡算。而在流体流动与输送过程中则将总能量的衡算简化为机械能的衡算。有关具体内容在各章中将分别介绍。

能量衡算主要起以下作用:

1. 根据能量的形式及其转化,确定能量输入或输出的基本方法和措施(如加压或减压,塔釜

的加热、塔顶冷凝器的冷凝等)。

2. 根据过程需要输入或输出能量的数值,确定设备的基本尺寸(如流体输送泵的功率、换热器的面积等)。

3. 根据能量的关系,确定能量综合利用的途径(如副产水蒸气或研究过程能否利用过程释放的能量等)。

4. 根据能量衡算,预计反应或过程进行的情况及必须采用的措施(例如预先估算出放热反应可能引起的绝热升温等)。

5. 考察操作偏离正常情况或在设计反应条件下反应进行的程度。

在化学工程和工艺中除引用物理、化学、工程学中的重要原理和定律外,其本身也有其重要的基本概念(如压头、特征数、量纲分析、比摩尔分数等)、基本原理(如边界层概念、双膜理论、扩散模型等)和基本运算(如图解积分、数值积分、试差法等),这些在学习各章时应注意并掌握。

1.4 化工过程开发简介

化工过程开发是指将实验室研究扩大为生产规模,使新产品、新工艺或新技术在工业装置中运转或转变为生产力的全过程。研究任何化工新产品、新技术和新工艺,或对原有产品生产方法和工艺过程改造等,大多是由实验室研究开始,并以实验室研究成果的形式出现的。化工过程开发工作需要涉及多个学科领域,过程中包括有:研究和实验、扩大试验、设计、施工、试生产以至正式生产等环节,需要具备多方面的知识和各个方面的专业人员配合,尤其要在开发过程中树立技术经济观念。如何将科研成果迅速转变为生产力,缩短从实验室过渡到工业化的开发周期,提高实验室研究成果的放大倍数和减少开发的中间步骤,已成为人们密切关注的问题。随着化学科学中的不断创新和化学工程的迅速发展,尤其是化学反应工程理论的创建和不断充实,实践经验的逐步积累和丰富以及新材料和先进设备的应用,在化工过程开发中已不再单凭经验,而是运用化学工程的理论和方法,通过数学模拟放大,加速化工新过程的开发和化学工业的发展。

化工过程开发的步骤主要有:实验室研究、可行性研究(包括资料收集、概念设计或工艺方案设计、过程评价等)、中间试验、工业装置设计和评价、工业装置建立等。

化工过程开发中的实验室研究是指对要开发的项目进行技术方案、原始路线、生产方法和操作条件等方面的实验研究。为区别于实验室的基础理论研究和探索性研究,过程开发所进行的一系列研究称为开发性实验室研究,因规模较小,一般也称为小试。

可行性研究是对要开发的项目进行综合研究,并作出评价,判断是否宜于开发。主要是技术上的可行性(工艺是否合理、技术是否先进、生产是否安全、开发的风险如何、操作控制技术难易程度、产品质量指标是否符合要求、开发的周期、过程的能耗、腐蚀及耐腐蚀措施等);过程的经济效益(工业化的投资和赢利的估测、产品的成本经济价值和社会效益、原料和能源的来源及供应、产品的市场需求及预测等);环境保护的研究(三废的数量及治理方案、可能对环境污染的程度、采取的劳动保护或安全生产措施等)。

中间试验的目的是获取建造大型工业装置所缺少的数据资料,并验证已掌握的数据。中间试验装置是按照小试归纳的数据和资料设计建立的。

工业装置的设计是在中试装置取得成果,并进行了不同条件下的比较实验,找出优化条件或

取得成功的操作经验和确定设备造型后,通过评价或再次进行可行性调研的基础上进行设计的。

工业装置的设计和投产由专职人员负责进行,需对以下各项进行设计和确定:

1. 装置的规模;
2. 生产成本的估算;
3. 技术的可靠性;
4. 物料的各种性质;
5. 单元操作的类型;
6. 装置系列的选择;
7. 机器类型的选择;
8. 测量元件及控制装置的选择。

工业装置投入生产前,要制定出操作规程并在试生产中补充。要培养出符合生产要求的操作人员和技术人员。

1.5 化工常用单位及其换算

在长期的科学技术和生产发展过程中,由于历史和地区差别及历史原因形成了不同的单位制。有厘米·克·秒(cgs)制单位,称为绝对制或物理制;米·千克·秒($m \cdot kg \cdot s$)制单位——米制;米·千克·力·秒($m \cdot kgf \cdot s$)制——重力制(工程制),此外,还有英制等。

由于各国各地区以及在不同领域所使用的单位制不同,同一个物理量在不同的单位制中具有不同的单位与数值,给国际间在科技领域及生产交流中带来很多不便。为改变这种局面以统一计量单位,1960年10月第十一届国际计量大会制定了一种新的单位制,称为国际单位制——SI(Le Systeme International d'Unites)。

SI是在 $m \cdot kg \cdot s$ 的基础上发展起来的,由七个基本单位和两个辅助单位所组成,即长度单位(米,m)、质量单位(千克,kg)、时间单位(秒,s)、热力学温度单位(开尔文,K)、物质的量单位(摩尔,mol)、电流单位(安培,A)、发光强度单位(坎德拉,cd),两个辅助单位为平面角(弧度,rad)、立体角(球面角,sr)。

SI具有以下两大优点:

1. 通用性

在自然科学、工程技术及国民经济各部门中,所有物理量都可由上述七个基本单位导出。

2. 一贯性

任何一个导出单位在由上述基本单位或乘或除导出时,不需引入任何换算因数。

国际单位制由于其所具有的上述优越性,已被世界各国普遍采用。我国国务院于1976年1月制定了“中华人民共和国法定计量单位”,是以国际单位制为基础,并根据我国具体情况,由国家选定一些非国际单位制构成的。

尽管目前世界各国已普遍采用国际单位制,但由于长期的使用习惯和一些过去生产的仪器设备的继续使用,尤其是在查阅以前出版的文献、手册、期刊时,常会遇到一些其他单位制所表示的物理量,经常会涉及单位的换算。因此有必要了解各种单位制,并能掌握不同单位制的对应单位之间的换算。在单位换算过程中,应把单位和数值同时纳入换算。同一物理量用不同单位制

的单位度量时的数值比称为换算因数。在本书附录一中,可查得化学工程中各种单位制的单位换算因数。

第二章 流体流动与输送

内容提要 本章主要讨论化工生产过程中流体流动的基本原理及流体流动基本规律,并运用这些原理和规律去分析和解决化工生产中流体的输送问题。

基本要求 1. 了解化工生产过程中流体流动的基本规律及其应用;2. 掌握伯努利方程及其在化工生产中的应用;3. 掌握流体在管内流动的阻力计算;4. 了解离心泵和往复式压缩机的基本工作原理,掌握离心泵的扬程、功率及效率的计算。

化工生产中所处理的原料及产品,大多都是流体。按照生产工艺的要求,制造产品时需要将原料输送到设备内进行物理变化或化学反应,产品又需要输送到贮罐内贮存。过程进行的好坏、动力消耗及设备投资都与流体流动状况密切相关。

化工厂中,流体输送管路密布,流体输送设备到处可见,因此,流体输送管路及流体输送设备在化工生产中起着很重要的作用。

2.1 流体流动中的守恒原理

物料衡算与能量衡算是化工生产过程计算的两大基础。在处理流体流动过程中,同样以这两大衡算作为基本依据。本节着重讨论流体流动过程中的能量衡算。

2.1.1 定态流动与非定态流动

在流动系统中,若任一截面处的流速、压强、密度等有关物理量不随时间而变,这种流动称为定态流动。若流体流动时,流体任一截面处的有关物理量随时间而变,则称为非定态流动。

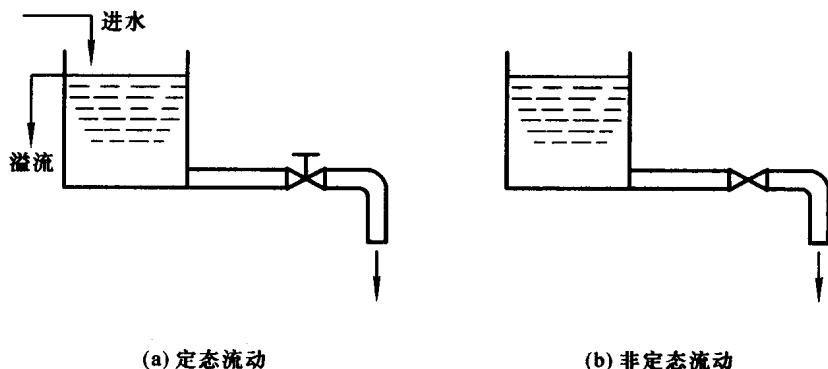


图 2-1 定态流动与非定态流动示意图

图 2-1(a)所示一水箱。水箱上部不断有水从进水管注入,从下部排水管不断排出,注水量